

541.395  
SuH  
u e

**DOSEN MUDA**



**LAPORAN KEGIATAN**

**KAJIAN NUMERIK DAN EKSPERIMENTAL  
REAKSI ESTERIFIKASI  
PADA REAKTOR UNGGUN TETAP KATALITIK**

**Oleh :**

**Suherman, ST., MT.**

**Dyah Hesti Wardhani, ST., MT.**

**Aprilina Purbasari, ST.**

**Dibiayai Oleh Proyek Peningkatan Penelitian Pendidikan Tinggi  
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional,  
Sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Dosen Muda  
Nomor : 028/P4T/DPPM/PDM/III/2003 tanggal 28 Maret 2003**

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG  
Juni, 2003**

**UPT-PUSTAK-UNDIP**

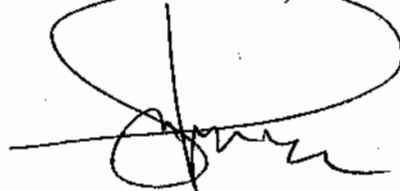
No. Daft: 507/K1/f.1/91..

# **LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN DOSEN MUDA**

- |                                    |   |  |
|------------------------------------|---|--|
| 1. a. Judul Penelitian             | : | <b>Kajian Numerik dan Eksperimental Reaksi Esterifikasi pada Reaktor Unggun Tetap Katalitik</b>  |
| b. Kategori Penelitian             | : | <b>I/Teknologi</b>   |
| 2. Ketua Peneliti                  |   |  |
| a. Nama Lengkap dan Gelar          | : | <b>Suherman, ST, MT</b>  |
| b. Jenis Kelamin                   | : | <b>Pria</b>  |
| c. Golongan pangkat dan NIP        | : | <b>IIIa / Penata Muda / 132 281 752</b>  |
| d. Jabatan fungsional              | : | <b>-</b>   |
| e. Jabatan Struktural              | : | <b>-</b>   |
| f. Fakultas/Jurusan                | : | <b>Teknik/Teknik Kimia</b>   |
| g. Bidang Ilmu yang Diteliti       | : | <b>Teknik Reaksi Kimia</b>   |
| 3. Jumlah Anggota Peneliti         | : | <b>2 Orang</b>   |
| 4. Lokasi Penelitian               | : | <b>- Laboratorium Komputasi Proses, dan<br/>- Laboratorium Teknik Reaksi<br/>Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik<br/>Universitas Diponegoro, Semarang</b> |
| 5. Kerjasama dengan Institusi Lain | : | <b>-</b>   |
| a. Nama Institusi                  | : | <b>-</b>   |
| b. Alamat                          | : | <b>-</b>   |
| 6. Lama Penelitian                 | : | <b>8 (delapan) bulan</b>   |
| 7. Biaya yang Diperlukan           | : |  |
| a. Sumber dari Depdiknas           | : | <b>Rp. 5.000.000,-</b>   |
| b. Sumber Lain                     | : | <b>-</b>   |
| Jumlah                             | : | <b>Rp. 5.000.000,-<br/>(Lima Juta Rupiah)</b>  |

Semarang, 28 Oktober 2003

Ketua Peneliti,



(Suherman, ST., MT.)

NIP 132 281 752

Mengotahui:  
Dekan Fakultas Teknik



(Sri Eko Wahyuni, MS)

NIP. 130 701 053



Menyetujui:

Ketua Lembaga Penelitian



(Dr. H. Riwanto, Sp.BD)

NIP 130 529 454

## RINGKASAN

### KAJIAN NUMERIK DAN EKSPERIMENTAL REAKSI ESTERIFIKASI PADA REAKTOR UNGGUN TETAP KATALITIK

Suherman, Dyah Hesti Wardhani, Aprilina Purbasari  
(2003, 31 halaman)

Reaktor unggun tetap katalitik merupakan jenis reaktor yang paling banyak digunakan dalam industri proses kimia. Dalam pengoperasiannya seringkali dijumpai fenomena distribusi aliran tidak merata (*flow maldistribution*) dan panas terlokalisir (*hot spot*). Kedua fenomena ini dapat mengakibatkan banyak masalah operasi dan menurunkan kinerja reaktor. Salah satu industri kimia yang menggunakan jenis reaktor ini adalah reaksi pembuatan ester melalui reaksi esterifikasi. Etil Asetat merupakan salah satu jenis ester yang cukup banyak penggunaannya dan diproduksi melalui reaksi esterifikasi antara asam asetat dan etanol.

Penelitian ini melakukan kajian eksperimental dan numerik. Kajian eksperimental dilakukan dengan melakukan percobaan di laboratorium. Reaktor dirancang dan dibuat dari kaca dengan sistem pendingin yang menyelimuti seluruh permukaan luar reaktor. Sedangkan katalis dibuat dari zeolit yang telah diaktivasi menggunakan asam asetat. Percobaan dilakukan dengan memvariasikan laju alir umpan 40 – 70 cc/mnt dan temperatur umpan 313 – 343 K. Data eksperimen yang dihasilkan berupa konversi asam asetat yang diukur menggunakan metoda titrasi acidi-alkalimetri, dan data temperatur yang diukur menggunakan termometer yang terpasang di sepanjang reaktor.

Sedangkan kajian numerik dilakukan melalui proses simulasi model menggunakan komputer. Model tersusun atas model konservasi massa, panas dan momentum, serta model kinetika reaksi. Model diselesaikan secara simultan menggunakan metoda beda hingga dan diintegrasikan menggunakan metoda runge-kutta orde 4. Selanjutnya ditulis dalam bahasa pemrograman MATLAB.

Hasil eksperimen memberikan kecenderungan secara kualitatif sama dengan hasil eksperimen oleh para peneliti lain. Demikian juga, hasil validasi model dengan pengukuran eksperimen memberikan kesesuaian yang cukup baik. Fenomena distribusi aliran tidak merata terjadi karena distribusi porositas unggun yang tidak seragam. Fenomena panas terlokalisir tidak terjadi karena semua reaktan belum sempurna bereaksi

hingga aliran keluar dari reaktor. Konversi reaksi di setiap titik tidak seragam karena laju reaksi di setiap titik tidak seragam.

Selain itu simulasi terhadap variabel kondisi operasi menunjukkan bahwa (i) semakin tinggi laju alir massa umpan, maka akan menurunkan konversi, temperatur keluaran reaktor dan harga  $u/u_{in}$ , (ii) semakin tinggi temperatur umpan, maka akan menaikkan konversi dan temperatur keluaran reaktor, tetapi tidak mempengaruhi harga  $u/u_{in}$ , (iii) semakin tinggi rasio konsentrasi asam asetat terhadap konsentrasi etanol pada umpan, maka akan menurunkan konversi dan temperatur keluaran reaktor, tetapi tidak mempengaruhi harga  $u/u_{in}$ .

Kegiatan ini perlu dikembangkan dengan pemasangan alat ukur kecepatan superfisial fluida dan penggunaan model tiga dimensi reaktor unggun tetap katalitik.

---

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Dibiayai Oleh Proyek Peningkatan Penelitian Pendidikan Tinggi  
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional,  
Sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Dosen Muda  
Nomor : 028/P4T/DPPM/PDM/III/2003 tanggal 28 Maret 2003

## **SUMMARY**

# **EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDIES OF ETHERIFICATION REACTION ON CATALYTIC PACKED BED REACTOR**

Suherman, Dyah Hesti Wardhani, Aprilina Purbasari  
(2003, 31 pages)

Catalytic packed bed reactor is greatly used in chemical process industrial. The flow maldistribution and hot spot is frequently occurred in the operation. These phenomena are very complicated and decrease the performance of reactor. Ethyl acetate is one of kind industry which using this reactor. Ethyl acetate is produced with react acetic acid with ethanol using zeolite catalyst.

The research is consisting of numerical and experimental studies. The experimental studies use the reactor from glass and catalyst from zeolite, which it is has activated with sulfate acid. The wall of reactor is cooled by water. Variable of experiment are rate of reactant: 40 – 70 cc/mnt and feed temperature: 313 – 343 K. The data of experiment are conversion of reaction that calculated use acid-alkalimeter method, and temperature profile along the reactor that measure use thermometers.

The numerical studies are simulation of model use computer. The model is consist of mass conservation, heat conservation, momentum conservation, and kinetic model. Model is solved using finite difference and runge-kutta methods. Therefore the model is calculated using MATLAB language program.

The results of experimental show good agrcement with experimental data by another researchers. The validation of model gives good agreement with experimental data. The flow maldistribution is occurred due to in-homogeny of bulk porosity distribution. The hot spot is occurred due to all reactant not yet react perfectly until out from reactor. The conversion of reaction is not homogeny due to the rate of reaction in the spatial regions in-homogeny.

Simulation of operation condition show that (i) the increasing feed flow rate will decrease the conversion, output temperature, and value  $u/u_{in}$ , (ii) the increasing of feed temperature will increase the conversion and output temperature, but not response to value

$u/u_{in}$ , (iii) the increasing of ratio of acetic acid concentration to ethanol concentration in feed will decrease the conversion and output temperature, but not response to value  $u/u_{in}$ .

This research needs to develop with to measurement superficial velocity and use three-dimensional model of catalytic packed bed reactor.

---

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Diponegoro

Funded by Proyek Peningkatan Penelitian Pendidikan Tinggi

Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional,

Agreement with Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Dosen Muda

Number: 028/P4T/DPPM/PDM/III/2003, date 28 March 2003

## PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah Swt., atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga laporan penelitian dosen muda ini dengan judul **"Kajian Numerik dan Eksperimental Reaksi Esterifikasi pada Reaktor Unggun Tetap Katalitik"** dapat kami selesaikan dengan baik. Penelitian ini terdiri atas kegiatan eksperimen di laboratorium dan simulasi menggunakan computer, selama lima bulan. Penelitian ini dibiayai oleh Proyek Peningkatan Penelitian Pendidikan Tinggi, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional

Pada kesempatan yang baik ini peneliti menyampaikan terima kasih kepada;

1. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional,
2. Ketua Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro,
3. Dekan Fakultas Teknik Undip,
4. Ketua Jurusan Teknik Kimia Undip,
5. Kepala Laboratorium Teknik Reaksi, Fakultas Teknik Undip,
6. Kepala Laboratorium Komputasi Proses, Fakultas Teknik Undip,
7. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhirnya penyusun berharap semoga laporan penelitian ini bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan di Indonesia. Kritik dan saran yang membangun dari para pembaca sangat kami nantikan.

Penyusun

## DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN DAN <i>SUMMARY</i>	iii
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I. PENDAHULUAN	1
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	8
IV. METODE PENELITIAN	9
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	14
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	29
DAFTAR PUSTAKA	30
LAMPIRAN	32



## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1 Parameter Model Kinetik	4
Tabel 4.1 Parameter Model Kinetika Izarraraz	12
Tabel 5.1 Data eksperimen pengaruh laju alir umpan	15
Tabel 5.2 Data eksperimen pengaruh temperatur umpan	16
Tabel 5.3 Perbandingan prediksi model dengan eksperimental	18
Tabel 5.4 Hasil simulasi pengaruh laju alir massa umpan	23
Tabel 5.4 Hasil simulasi pengaruh temperature umpan	25
Tabel 5.4 Hasil simulasi pengaruh rasio konsentrasi umpan	27

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Profil fraksi ruang kosong unggun ke arah radial pada reaktor unggun tetap	6
Gambar 4.1 Tahapan aktivasi katalis zeolite	9
Gambar 4.2 Konfigurasi peralatan eksperimen	10
Gambar 4.3 Diagram blok alur kajian numerik	11
Gambar 5.1 Pengaruh laju alir umpan terhadap konversi	16
Gambar 5.2 Pengaruh temperatur umpan terhadap konversi	17
Gambar 5.3 Perbandingan hasil simulasi dengan data eksperimen	18
Gambar 5.4 Profil dua dimensi kecepatan superfisial	19
Gambar 5.5 Profil dua dimensi temperatur	21
Gambar 5.6 Profil dua dimensi konversi	22
Gambar 5.7 Pengaruh laju alir massa umpan terhadap profil temperatur, konversi dan kecepatan menggunakan model pada $T_{in} = T_w = 333 \text{ K}$ , $Ca=17 \text{ M}$ , $Ce=17 \text{ M}$	24
Gambar 5.8 Pengaruh temperatur umpan terhadap profil temperatur, konversi dan kecepatan menggunakan model pada $m = 40 \text{ cc/mnt}$ , $T_w = 333 \text{ K}$ , $Ca = 17 \text{ M}$ , $Ce = 17 \text{ M}$	26
Gambar 5.9 Pengaruh rasio konsentrasi umpan terhadap profil temperatur, konversi dan kecepatan menggunakan model pada $m = 40 \text{ cc/mnt}$ , $T_{in}=T_w=333 \text{ K}$	28
Gambar A.1 Diagram reaktor unggun tetap bentuk silinder dan elemen diferensialnya yang diperbesar	A-1
Gambar A.2 Elemen volum diferensial dalam koordinat silinder	A-2
Gambar A.3 Lapisan batas di sekitar permukaan katalis	A-3
Gambar B.1 Sistem semidiskretisasi ke arah radial	B-1

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Penurunan Persamaan Model Pseudohomogen Dua Dimensi Reaktor Unggun Tetap	A-1
Lampiran B. Semidiskretisasi Persamaan Model Pseudohomogen Dua Dimensi Reaktor Unggun Tetap	B-1
Lampiran C. Penentuan Parameter Transport	C-1

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Reaktor unggun tetap katalitik merupakan jenis reaktor yang paling banyak digunakan dalam industri proses kimia, seperti pembuatan amoniak, reformasi gas alam dan perengkahan minyak bumi. Reaktor ini berisikan partikel katalis berpori yang berbentuk pellet dan tetap posisinya. Reaktan dan produk masuk ke dalam reaktor melewati ruang pori dan berinteraksi dengan permukaan katalis. Aliran keluaran reaktor berisikan produk utama, produk samping dan reaktan yang tidak bereaksi. Fraksi massa produk dalam gas keluaran reaktor, biasanya dijadikan indikator utama unjuk kerja reaktor. Semakin tinggi fraksi produk utama, semakin baik unjuk kerja reaktor (Tarhan, 1983).

Distribusi aliran tidak merata seringkali terjadi dalam pengoperasian reaktor unggun tetap (Froment, 1990). Hal ini dapat dimengerti, karena reaktor didesain menggunakan metoda penyederhanaan aliran yang sebenarnya sangat rumit disederhanakan menjadi suatu prosedur desain reaktor dasar, baik berdasarkan konsep pencampuran sempurna atau pun konsep aliran sumbat. Suatu pengembangan metoda desain reaktor terbaru dilakukan dengan pendekatan pemodelan karakteristik aliran di dalam reaktor menjadi satu set reaktor tunggal, sebagai representasi model yang menggambarkan karakteristik aliran sebenarnya (Szekely, 1975). Akan tetapi, pendekatan ini membutuhkan informasi mengenai pola aliran. Padahal, pola aliran itu sendiri merupakan sesuatu yang tidak bisa diukur. Oleh karena itu, penggunaan metoda ini sangat terbatas.

Masalah penting lain yang kerap terjadi pada reaktor unggun tetap katalitik adalah pembentukan daerah "*hot spot*" atau panas terlokalisir (Gates, 1979). Panas terlokalisir dapat mendorong terjadinya penggabungan partikel katalis, yang mana akan menurunkan aktivitas dan luas permukaan katalis. Akibatnya, umur katalis lebih pendek dan ongkos operasi proses menjadi lebih tinggi. Selanjutnya, panas terlokalisir sangat potensial mengakibatkan kerusakan pada dinding reaktor.

Fenomena distribusi aliran tidak merata dan panas yang terlokalisir sangat komplikatif. Kedua fenomena ini dapat mengakibatkan banyak masalah operasi atau mempengaruhi parameter-parameter proses lainnya. Distribusi aliran tidak merata dan

panas terlokalisir berhubungan timbal balik. Beberapa akibat dan efek yang dapat ditimbulkan adalah sebagai berikut (Makertiharta, 1997):

1. distribusi aliran yang tidak merata dapat terjadi karena ketidakseragaman ruang kosong dalam unggun yang terbentuk antar katalis khususnya pada daerah dekat dinding,
2. distribusi aliran yang tidak merata mendorong terjadinya reaksi samping akibat distribusi temperatur yang tidak sama,
3. distribusi aliran yang tidak merata mengurangi waktu tinggal reaktan,
4. distribusi aliran yang tidak merata dapat membentuk variasi temperatur yang besar,
5. variasi temperatur yang besar menghasilkan daerah panas terlokalisir,
6. variasi temperatur yang besar merubah sifat-sifat fisik fluida,
7. variasi sifat-sifat fisik fluida mengakibatkan instabilitas aliran,
8. laju panas hasil reaksi kimia yang tinggi mengakibatkan profil densitas yang besar sehingga distribusi aliran tidak merata akibat adanya daerah aliran cepat dan lambat,
9. daerah aliran lambat menghasilkan temperatur yang tinggi sehingga partikel katalis dapat mengalami "*sintering*",
10. kenaikan kecepatan fluida akan mengarah ke pengurangan terjadinya distribusi aliran tidak merata,
11. kecepatan yang rendah akan berhubungan dengan tingginya konversi dan tingginya konversi ini akan melahirkan distribusi aliran tidak merata.

Salah satu industri kimia yang menggunakan jenis reaktor ini adalah reaksi pembuatan Ester melalui reaksi esterifikasi. Etil Asetat merupakan salah satu jenis ester yang cukup banyak penggunaannya. Etil Asetat digunakan antara lain sebagai bahan baku sintesis senyawa-senyawa organik, sebagai pelarut pada industri cat dan sebagai pembersih pada industri tekstil. Etil Asetat diproduksi melalui reaksi esterifikasi antara asam asetat dan etanol (Hangx G etc., 2001).

Reaksi Esterifikasi merupakan reaksi bolak-balik (*reversible*) sangat dipengaruhi oleh kondisi proses. Waktu reaksi yang pendek, batasan perpindahan panas, produk antara, reaksi lanjutan, reaksi balik merupakan sifat-sifat khas reaksi ini yang perlu dipelajari hubungannya terhadap kondisi operasi sehingga mendapatkan konversi reaksi yang diinginkan (Gates, 1979). Hal yang sangat merugikan adalah terjadinya reaksi produk membentuk reaktan kembali. Oleh karena itu, perlu sekali dilakukan suatu kajian secara komprehensif secara numerik dan eksperimental mengenai distribusi aliran, massa dan panas.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Pada penelitian ini akan dilakukan kajian eksperimental dan numerik. Kajian eksperimental dilakukan dengan melakukan uji coba secara eksperimental. Reaktor dirancang sedemikian rupa sehingga dapat dilakukan variasi terhadap laju alir massa, perbandingan konsentrasi umpan dan temperatur pendinginan. Sedangkan kajian numerik dilakukan melalui proses simulasi menggunakan komputer. Simulasi dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan proses pemodelan, terhadap hukum-hukum konservasi massa, panas dan momentum secara dua dimensi dilanjutkan dengan proses penyelesaian secara numerik. Kemudian dilakukan analisa dan pembahasan terhadap kedua hasil tersebut.